



УДК 004.031

С. В. АБЛАМЕЙКО, С. Г. ЕМЕЛЬЯНОВ (РОССИЯ), Е. А. ТИТЕНКО (РОССИЯ),
О. И. АТАКИЩЕВ (РОССИЯ), А. О. АТАКИЩЕВ (РОССИЯ)

ПРОДУКЦИОННАЯ СИСТЕМА ТУЭ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Одним из возможных способов решения задач распознавания образов являются продукционные системы. Вычислительный формализм в виде продукционных систем характеризуется однородностью состава правил, естественной модульностью декомпозиции на подсистемы, достаточной гибкостью схемы управления и ее модифицируемостью. Данные свойства продукционных систем особенно полезны при организации параллельных вычислений. С точки зрения теории алгоритмов задача структурного распознавания образов рассматривается как параллельно выполняющиеся ветвящиеся процессы, в которых каждый путь задает индивидуальную траекторию преобразования слов-дескрипторов в поисковом графе решения задачи.

Нами предлагается использовать модифицированную продукционную систему Туэ для эффективного решения задачи структурного распознавания образов. Эффективная генерация ветвящихся процессов в системе Туэ основывается на получении количественных оценок ветвлений и определении максимального количества элементарных преобразователей для технологии безотступных вычислений.

Модифицированная система имеет встроенные средства для естественной параллельной генерации ветвящихся продукционных процессов и анализа создаваемых дискретных объектов в виде набора взаимно дополняющих выводов, служащих основой стратегий параллельных выводов. Данные выводы имеют самостоятельную ценность для организации параллельных вычислений, если решаемая задача допускает однородное описание на основе модели вычислений, управляемых потоком данных.

Ключевые слова: распознавание образов; продукционная система; параллельные вычисления.

One of widely used mathematical apparatuses for the solution of pattern recognition problems are productional systems. The computing formalism in the form of productional systems is characterized by uniformity of structure of the rules, a natural modularity of decomposition on subsystems, sufficient flexibility of the scheme of management and its changeability. These properties of productional systems are especially useful for the organization of parallel calculations. From the point of view of the theory of algorithms, pattern recognition problem is considered as parallel carrying-out branching processes. In these processes, each way sets an individual trajectory of transformation of word descriptors in the search count of the solution of a task.

In this article, the use of Tue modified productional system is proposed for the effective solution of a problem of structural pattern recognition. Effective generation of branching processes in modified productional system is based on receiving quantitative estimates of branchings and definition of the maximum number of elementary converters for technology of parallel calculations.

The modified system has built-in means for natural parallel generation of branching productional processes and for analysis of created discrete objects in the form of a set of mutually supplementing conclusions. These conclusions have independent value for the organization of parallel calculations if the solved task allows the uniform description on the basis of model of the calculations operated by a data flow.

Key words: pattern recognition; productional system; parallel calculations.

Актуальность

Одно из приоритетных направлений развития современных систем поддержки принятия решений (СППР) – теоретические и прикладные средства высокопроизводительной обработки информации на базе моделей и методов обработки знаний [1] и методов интеллектуального анализа данных [2]. Как известно, такие модели и методы ориентируются на решение слабоформализованных проблемно-поисковых задач, среди которых существенную долю занимают задачи распознавания и диагностики. Их отличительная особенность связывается с возможностью символического описания предметной области и обработки символической информации (ОСИ) на единых математических началах [3]. Другая объединяющая особенность связана с тем, что задачи ОСИ традиционно трактуются как задачи генерации и анализа создаваемых символических структур-дескрипторов на основе имеющихся наборов исходных слов и разрешительных правил преобразования, т. е. исчислений.

Символьная информация и вычисления над ней характеризуются огромными массивами разнородных полей данных со сложной внутренней логической структурой между ними, что обуславливает ряд специфических проблем, не свойственных числовой обработке и техническим средствам их поддержки. В ОСИ для задачи структурного распознавания образов ведущее положение занимает проблема эффективной генерации графа решения задачи [3, 4], свободной от тотального перебора всего пространства состояний. В этом контексте решение задачи распознавания основывается на модели коллектива вычислителей, скоординированно ведущих направленный параллельный поиск и имеющих внутренние средства выбора соответствующего текущим данным отношения вывода.

Аппарат продукционных систем (ПС) является исторически апробированным и доказавшим свою востребованность при исследовании теоретических вопросов и разработке приложений ОСИ. Вычислительный формализм в виде ПС характеризуется однородностью состава правил, естественной модульностью декомпозиции на подсистемы, достаточной гибкостью схемы управления и ее модифицируемостью. Данные конкурентные преимущества продукционной модели служат побудительным источником для исследования вопросов организации параллельных вычислений.

С точки зрения теории алгоритмов задача структурного распознавания образов рассматривается как параллельно выполняющиеся ветвящиеся процессы, в которых каждый путь задает индивидуальную траекторию преобразования слов-дескрипторов в поисковом графе решения задачи.

Аппарат продукционных систем

Исчислительная ПС состоит из однородного по составу набора разрешительных правил (продукций). Тем не менее известные исчислительные ПС (ассоциативные исчисления Туэ, нормальные исчисления Э. Поста, неограниченные грамматики Н. Хомского и др. [4]) не были ориентированы на безотступную технологию генерации текущих слов-дескрипторов. Основная проблема связана с отсутствием достоверных данных о коэффициентах ветвления поискового графа задачи ОСИ.

Для эффективного решения задачи структурного распознавания образов выбрана модифицированная ассоциативная полусистема Туэ [5]. Схема активации и срабатывания продукции $O \rightarrow P$ (O – слово-образец, P – слово-модификатор) над обрабатываемым словом S в алфавите A описывается следующим образом:

- 1) выполняется операция поиска слева направо в слове S первой позиции вхождения образца O ;
- 2) в найденной позиции вхождения осуществляется операция замены в слове S образца O на модификатор P ;
- 3) в случае отрицательного поиска позиции вхождения образца O в слове S продукция считается неприменимой, ее работа завершается.

Синтез модифицированной продукционной системы

Проблема безотступной генерации ветвящихся процессов в исчислительных ПС имеет собственные ограничения в организации параллельных вычислений, связанные с отсутствием информации о рациональном (оптимальном) количестве дискретных символьных преобразователей. Ее отсутствие не позволяет полностью использовать естественный параллелизм данных. В связи с этим возникает необходимость введения модифицированной ассоциативной полусистемы Туэ, имеющей встроенные средства оценки степени параллелизма и организации безвозвратных символьных вычислений с параллельной генерацией графа решений по множеству траекторий [6].

Предлагаемая модифицированная продукционная ПС понимается как объект вида

$$IPS = \{A, W, X, Y, \alpha, \beta, \mathfrak{Z}, I\}, \quad (1)$$

где A – рабочий алфавит, $W = \{A^*\}$ – рабочая среда исчисления (язык допустимых слов), X – язык входных слов в A ; Y – язык выходных слов в A ; α – процедура ввода входных слов в IPS ($W \supset \alpha(X)$); β – процедура извлечения выходных слов ($W \supset \alpha(Y)$); \mathfrak{Z} – определяющее множество продукций таких, что $\forall i (P = \{p_i\} i = 1, \dots, n)$; n – мощность \mathfrak{Z} ; I – внутренний язык управляющих слов.

Скоординированная работа неединичного множества дискретных символьных преобразователей предлагаемой ПС обеспечивается использованием дополнительной информации в виде специальных управляющих слов из I , описывающих конфликтные ситуации при параллельной обработке рабочих слов из X . Главная трудность реализации безвозвратных параллельных вычислений в ПС вида (1) заключается в том, что структура графа решений является неизвестной, и это не позволяет вычислить нижнюю границу мощности неединичного множества преобразователей и без конфликтов распределять ветвящиеся процессы для равноправной генерации всех траекторий в графе.

Для системы (1) отношение непосредственной выводимости слова β из слова α обозначается как $\alpha \Rightarrow \beta$. Оно означает, что слово β смежно со словом α , если существуют такие слова $L, R \in A^*$, что $\alpha = L * O_k * R \in A^*$, $\beta = L * P_k * R \in A^*$, и существует продукция $O_k \rightarrow P_k$.

Пусть $m \in N$, $\alpha, \beta, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{m-1}, \alpha_m \in A^* \Rightarrow^m$ – m -я степень отношения \Rightarrow , а \Rightarrow^* – рефлексивное и транзитивное замыкание отношения \Rightarrow . Тогда линейным выводом длины m слова β из слова α в исчислительной ПС называется последовательность слов $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{m-1}, \alpha_m$, для которых справедливо

$$\alpha_0 = \alpha, \alpha \Rightarrow \alpha_1, \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2, \dots, \alpha_{m-1} \Rightarrow \alpha_m, \alpha_m = \beta.$$

Слово β , выводимое из слова α за m шагов в модифицированной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^m \beta$. Слово β , выводимое из слова α в исчислительной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^* \beta$.

Для описания, исследования и временной оптимизации ветвящихся продукционных процессов в модифицированной ПС вводится p -значное отношение равноправной выводимости.

Пусть $p \in N$ и заданы слова $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \beta_p \in A^*$. P -значное отношение непосредственной выводимости слов $\beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \beta_p$ из слова α обозначается как $\alpha \Rightarrow \{\beta\}_p^1$. Оно означает, что слова $\beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \beta_p$ смежны со словом α , если существуют такие активационные продукции количеством p :

$$\begin{aligned} O_{i_1} &\rightarrow P_{i_1} \\ O_{i_2} &\rightarrow P_{i_2} \\ &\dots \\ O_{i_p} &\rightarrow P_{i_p} \end{aligned} \quad (2)$$

и слова $L_{i_1}, R_{i_1} \in A^*, L_{i_2}, R_{i_2} \in A^*, \dots, L_{i_p}, R_{i_p} \in A^*$, что равноправно возможны следующие представления $\alpha = \{L_{i_k} * O_{i_k} * R_{i_k}\}_p^1 \in A^*$ и $\{\beta\}_p^1 = \{L_{i_k} * R_{i_k} * R_{i_k}\}_p^1 \in A^*$ для $k=1, \dots, p$.

Ветвящимся выводом длины m множества слов $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d$ из слова α в исчислительной ПС называется последовательность множеств слов $\alpha_0, \{\alpha_1\}, \dots, \{\alpha_{m-1}\}, \{\alpha_m\}$, для которых справедливо

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \alpha, \alpha \Rightarrow \{\alpha_1\}_{p_1}^1, \dots, \\ \alpha_1 &\Rightarrow \{\alpha_2\}_{p_2}^1, \alpha_2 \Rightarrow \{\alpha_3\}_{p_3}^1, \dots, \\ \alpha_{m-1} &\Rightarrow \{\alpha_m\}_{p_m}^1, \dots, \\ \{\alpha_m\}_{p_m}^1 &= \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d. \end{aligned} \quad (3)$$

Соответственно множество слов $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d$, выводимое из слова α за m шагов в исчислительной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^m \{\beta\}_d^1$. Множество слов $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d$, выводимое из слова α в модифицированной ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^* \{\beta\}_d^1$.

Для модифицированной ПС задаются отношения линейного и ветвящегося непосредственного следования слов, определяющие два типа преобразований:

1) линейная генерация – преобразование единственного экземпляра исходного слова за m шагов вывода и получение одного выходного слова;

2) ветвящаяся генерация – преобразование необходимого количества копий исходного слова за m шагов вывода и получение множества выходных слов на равноправных началах.

Для ускорения эффективной линейной генерации слов в модифицированной исчислительной ПС наряду со стандартным бинарным отношением $\alpha \Rightarrow \beta$ непосредственной выводимости слов вводится его модификация, обозначаемая как $\alpha \Rightarrow_p \beta$ и понимаемая как p -значное отношение независимой выводимости на p независимых вхождении. Данная модификация относится к множеству таких активационных продукций (3), что существуют слова $L, T_1, T_2, \dots, T_{p-2}, R \in A^*$ и возможен один из альтернативных вариантов представления смежных слов α и β :

$$\begin{aligned} \alpha &= L * O_{i_{k_j}} * T_1 * O_{i_{k_j}} * T_{p-2} * O_{i_{k_j}} * R \in A^*, \\ \beta &= L * P_{i_{k_j}} * T_1 * P_{i_{k_j}} * T_{p-2} * P_{i_{k_j}} * R \in A^*, \end{aligned}$$

где $k_j = \{1, 2, \dots, p\}$ – номера активационных продукций из множества (2).

Новизна вводимого p -значного отношения независимой выводимости определяется параллельным срабатыванием p независимых активационных продукций из \mathfrak{Z} на одном шаге вывода с формированием единственного выходного слова вида (2).

Таким образом, работа модифицированной ПС связана с рекурсивным порождением множества слов. Каждый шаг вывода (каждый рекурсивный вызов ПС) осуществляется путем реализации одного из трех отношений вывода:

- 1) отношение линейного вывода;
- 2) p -значное отношение равноправного вывода (ИЛИ-параллельный вывод);
- 3) p -значное отношение независимого вывода (И-параллельный вывод).

Равноправное и независимое срабатывание продукций из активационного набора приводит к возможности создания параллельных стратегий выводов с безотступной генерацией множества вариантов-решений. Основу данных стратегий составляет дополнительная информация о конфликтных ситуациях, выявляемых до начала генерации путем анализа структурных отношений между образцами в \mathfrak{Z} . Дополнительная информация представляется в виде внутреннего языка I управляющих слов, являющихся характеристикой ПС.

* * *

Эффективная генерация ветвящихся продукционных процессов в модифицированной ПС основывается на получении количественных оценок ветвлений и определении максимального количества элементарных преобразователей для технологии безотступных вычислений, что прежде всего необходимо для задач распознавания образов и медицинской диагностики.

Модифицированная система имеет встроенные средства для естественной параллельной генерации ветвящихся продукционных процессов и анализа создаваемых дискретных объектов в виде набора взаимно дополняющих выводов, служащих основой стратегий параллельных выводов. Они имеют самостоятельную ценность для организации параллельных вычислений, если решаемая задача допускает однородное описание на основе модели вычислений, управляемых потоком данных [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации № 8.8482.2013.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абламейко С. В., Краснопрошин В. В., Образцов В. А. // Вестн. БГУ. Сер. 1. 2011. № 3. С. 62.
2. Виссия Х. (Голландия), Краснопрошин В. В., Вальвачев А. Н. // Вестн. БГУ. Сер. 1. 2011. № 3. С. 84.
3. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М., 2003. С. 196.
4. Успенский В. А., Семенов А. Л. Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. М., 1987. С. 30.
5. Титенко Е. А. Исчислительная продукционная система и реконфигурируемый мультипроцессор для ее реализации // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. 2011. № 3. С. 82.
6. Довгаль В. М., Титов В. С., Титенко Е. А. Стратегии быстрых символьных вычислений для исчислительной системы продукций // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. № 2. С. 44.

Поступила в редакцию 01.11.13.

Сергей Владимирович Абламейко – академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, ректор Белорусского государственного университета.

Сергей Геннадьевич Емельянов – доктор технических наук, профессор, ректор Юго-Западного государственного университета (г. Курск, Россия).

Евгений Анатольевич Титенко – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных систем и технологий Юго-Западного государственного университета.

Олег Игоревич Атакищев – доктор технических наук, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники Юго-Западного государственного университета.

Артур Олегович Атакищев – аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники Юго-Западного государственного университета. Научный руководитель – С. Г. Емельянов.